

## 研究ノート

## 簡易型バスロケーションシステムへの取り組み

米川 雅士

奈良産業大学 情報学部

**Abstract:** 一般的には GPS (Global Positioning System) という名称で知名度が高い衛星を利用した測位技術はアメリカのシステムである。1993 年にアメリカによるシステム配備完了宣言の後、一般への利用が解禁された。有名な利用例としてはカーナビゲーション・携帯電話・測量などがあり、私達の生活に多くの利益をもたらしている。今回開発を行っている「簡易型バスロケーションシステム」は今までの利用形態と大きく異なる利用例である。その違いとは、今までの利用は自分の位置を知るために利用されていた衛星測位システムが、今回開発を行っているシステムは目的となる対象物の位置情報を必要とする第三者に通知するシステムである。また、本システムの開発は学生教育の一環として実施しているため一般社会で利用されているシステム開発の手法を体験させることを目的としている。本ペーパーはシステム開発の経緯開発状況を記述する。

**Keyword:** GPS、携帯電話測位、幼稚園バス、PMBOK

## 1 システム構築への取り組み

近年、衛星を利用した測位技術としてアメリカが開発した GPS が注目を浴びている。衛星を利用した測位技術はアメリカの GPS だけではなく、ロシアの GLONASS、EU の GALILEO、中国の COMPASS、インドの IRNSS、日本の QZSS など重要なインフラ技術だからこそ世界各国で競うようにして開発・運用が進められている。

アメリカが 1993 年に測位衛星の配備完了宣言を行った以降、一般社会へのシステム利用が許されるようになり多くの利用技術が開発されてきた。有名な技術としてはカーナビゲーション・携帯電話・測量などがあげられる。

しかし、今回開発している「簡易型バスロケーションシステム」(以降、本システムという)は前記した衛星を利用した一般的な測位システムとは違い自分の位置を第三者に通知するシステムの構築を目指している。これは、今までの測位衛星利用システムと違う点から新しく解決しなければならない問題が何点かある。セキュリティ・情報漏洩・情報伝達手段など今までにない点での開発も必要になることを表している。

次に本システムを開発する経緯について記述する。本システムを利用する奈良文化女子短期大学附属幼稚園では常時 3 路線の幼稚園バスを運行している。この幼稚園バスが 1 路線 1 時間以上の運行を行っており、幼

稚園バスに乗っている園児への負担、長距離の運行によるバス停への到着時刻遅延、バス停までの送り迎えを行っている保護者への負担など大きな問題になっている事がわかった。そのため、これら問題を解決するために本システムの開発に着手した。

本システムと同様な機能を持つシステムを開発する場合、多額の資金を使って業者に開発を依頼すれば容易に実現できる。しかし、そのような資金をすぐに準備することは難しい。よって、本システム開発を授業の一環として学生が開発を実施すること、本システムは手軽に手に入れることが出来る携帯電話を使って要求機能を実現することにより製造コストを大幅に削減することが可能である。最も安く実現を考えるのならば数万円程度で本システムの実現が可能である。

また、今回のシステム構築は製造するだけを目的とするのではなく、今まで講義などで学んだ知識をより深める事と社会でも通用する力を身につけるために仕様検討、設計書作成、製造、試験、テスト、運用までの一連の作業をプロジェクトマネジメント知識体系ガイドである PMBOK を利用することで経験を増やすことも目的の 1 つである。

これらの目的を達成するためにソフトウェア作成の工程を 1 回経験することで学生が社会に出たときに大きな力になることを強く期待して本システムの制作を開始した。

## 2 一般的な衛星測位方法

測位衛星は約 20,000km 上空を飛行しており、地球上どの場所においても測位を可能にするために 24 機以上の衛星が地球の周りを回っている。測位精度は測位の環境にもよるが一般的には 10m 程度とされている。この衛星から受信した信号を用いて測位を行う方法として、最も一般的な測位方法を記述する。

受信機は測距信号に乘せられたコードを用いて、信号の伝送時間（電波が衛星から受信機までに到達する時間）を計測する。伝送時間を  $\Delta t$  とすると、衛星と受信機間の距離  $R$  は光速  $c$  を掛けることにより次式のように表現できる。

$$R = c \times \Delta t \\ = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2 + (Z_i - z)^2} + s \quad (1)$$

ここで、 $(x, y, z)$  は受信機座標、 $(X, Y, Z)$  は衛星座標、 $s$  は受信機時計誤差による距離への影響、添え字  $i$  は観測された衛星である。衛星座標は測位衛星から送られてくるデータから計算することができるため、未知数とはならない。しかし、受信機の時計誤差は未知数として考慮しなければならない。測位衛星には原子時計が搭載されているため、非常に正確な時刻を計測できるが、通常受信機時計は不安定であり、光速を乗じるためにわずかな時計誤差が測定距離に大きく影響を与える。ただし、測位衛星同士の時計には誤差がないとシステム管理上定義されているので同じ時刻に受信されたデータであれば、すべての衛星に対する測定距離誤差は共通である。以上から、未知数は受信機座標  $(x, y, z)$ 、受信機時計誤差  $s$  の 4 つである。

受信機で求められた衛星までの距離  $R$  には誤差が含まれるので擬似距離（Pseudo Range）といわれる。

(1) 式には、3 次元位置座標  $(x, y, z)$  と時計誤差  $s$  の 4 つの未知数が含まれるため、方程式が 4 つ、すなわち 4 衛星からの情報が必要となる。

4 つの方程式を解くことにより、受信機の 3 次元座標及び受信機の時計誤差が求められる。実際には (1) 式による連立方程式は平方根を含む非線形方程式なので、反復による逐次計算法（ニュートン法）によって解く方法が一般的である。この方法では、未知数をその初期値と補正値の和で表わし、(1) 式をその補正値について展開し、その補正値は微小であると仮定することによって、2 次以上の高次項を無視して式を線形化する。

そうすれば、補正値についての連立 1 次方程式になり、逐次近似計算法により必要な精度まで計算を繰り返す事により、未知数を容易に求めることが可能である。初期値  $x_0, y_0, z_0$  に対する補正値を  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  とすると、両者の関係は次式のようになる。

$$\begin{cases} x_n = x_0 + \Delta x \\ y_n = y_0 + \Delta y \\ z_n = z_0 + \Delta z \end{cases} \quad (2)$$

(1) 式を  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  で線形化し

$$\Delta R_i = \frac{\partial R_i}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial R_i}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial R_i}{\partial z} \Delta z + \Delta s \quad (3)$$

という近似式を求める。

このとき  $\Delta R_i$  は擬似距離と初期値から計算される推定距離の差分で、

$$\Delta R_i = R_i - \sqrt{(X_i - x_0)^2 + (Y_i - y_0)^2 + (Z_i - z_0)^2} \quad (4)$$

となる。各偏微分項  $\frac{\partial R_i}{\partial x}, \frac{\partial R_i}{\partial y}, \frac{\partial R_i}{\partial z}$  は次式のようになり、それぞれ衛星方向のベクトルの射影となっていることがわかる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial R_i}{\partial x} &= -\frac{X_i - x}{\sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2 + (Z_i - z)^2}} \\ \frac{\partial R_i}{\partial y} &= -\frac{Y_i - y}{\sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2 + (Z_i - z)^2}} \\ \frac{\partial R_i}{\partial z} &= -\frac{Z_i - z}{\sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2 + (Z_i - z)^2}} \end{aligned} \quad (5)$$

ここで  $\alpha_i = \frac{\partial R_i}{\partial x}, \beta_i = \frac{\partial R_i}{\partial y}, \gamma_i = \frac{\partial R_i}{\partial z}$  とおくと (4) 式は

$$\begin{bmatrix} \Delta R_1 \\ \Delta R_2 \\ \Delta R_3 \\ \Delta R_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 & 1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 & 1 \\ \alpha_3 & \beta_3 & \gamma_3 & 1 \\ \alpha_4 & \beta_4 & \gamma_4 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta s \end{bmatrix} \quad (6)$$

と行列の形で書くことができる。

さらに

$$\Delta R = \begin{bmatrix} \Delta R_1 \\ \Delta R_2 \\ \Delta R_3 \\ \Delta R_4 \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 & 1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 & 1 \\ \alpha_3 & \beta_3 & \gamma_3 & 1 \\ \alpha_4 & \beta_4 & \gamma_4 & 1 \end{bmatrix}, \Delta X = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta s \end{bmatrix} \quad (7)$$

とすれば、

$$\Delta R = A \Delta X \quad (8)$$

と書ける。

この行列Aを観測行列と呼び、具体的な計算方法を以下にまとめる。

- (i) 概略位置を(4)式に代入し近似距離を求める。
- (ii) 観測行列Aを求め、(8)式から $\Delta X$ を求める。
- (iii)  $\Delta X$ が十分小さいかどうか判定し、小さくなければ $(x_0, y_0, z_0)$ に $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ を加え、再び(i)に戻る。
- (iv)  $\Delta X$ が十分小さければ計算を終了し、 $(x_0, y_0, z_0)$ を解として出力する。またそのときの $\Delta s$ が時計誤差を距離へと変換した値となる。

適当な閾値で計算を打ち切るものの、この計算結果の誤差は無視できるほど小さく、測位結果には影響しない。また、この計算の繰り返しは数回程度行えば完了する。以上が一般的な測位計算方法である。

### 3 携帯電話による衛星測位

一般的な衛星を利用した測位では前記したとおり最低でも4機の衛星を同時に受信し続ける必要がある。よって、街中で測位を実施した場合、どれくらい測位衛星を確保することが出来るのか一般的な商店街での衛星確保数の変動を調べた。図1に一般的な商店街、図2に衛星変動状況を記述する。



図1 一般的な商店街風景 (イメージ)

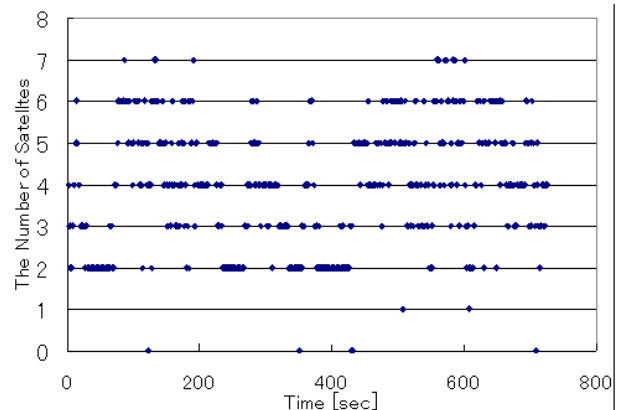


図2 一般的な商店街での衛星数変動一覧

図1で確認できると思うが衛星数を確認した場所は日本全国どこにでもある一般的な商店街である。このような場所で4機以上の衛星を確保できるのは受信した時間全体の60.4%しかない。

本システムは幼稚園バスの位置情報を通知するシステムとして携帯電話を利用するが、携帯電話の測位方法は前記した一般的な測位方法とは少し異なる。携帯電話の測位方式には4段階あり、状況に応じてその4段階の測位方式を使い分けている。以下にその4段階の測位方式を記述する。

#### 3.1 GPS Fix

測位に必要な衛星数を確保でき、一般的な測位方法と同じアルゴリズムで測位が実現できる。この方式は携帯電話を利用した測位方式の中で一番測位誤差が小さく測位することが可能である。測位イメージを図3に記述する。

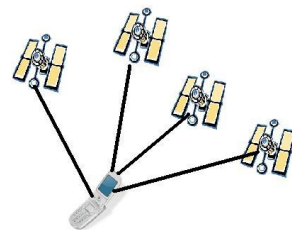


図3 GPS Fixの測位データ取得イメージ

#### 3.2 Hybrid Fix

測位衛星の確保が1~3機の時に携帯電話の移動体通信基地局を仮想衛星とみなし、一般的な測位方法と同じアルゴリズムで測位を実現する。受信している測

位衛星が1機の場合は移動体通信基地局を3箇所、測位衛星が2機の場合は移動体通信基地局を2箇所となる。ただし、Hybrid Fixで測位を行った場合は2つの新しい問題が発生する。測位イメージを図4に記述する。

- ・測位誤差が大きくなる
- ・測位衛星と移動体通信基地局の間で高精度な時刻同期が必要になる。

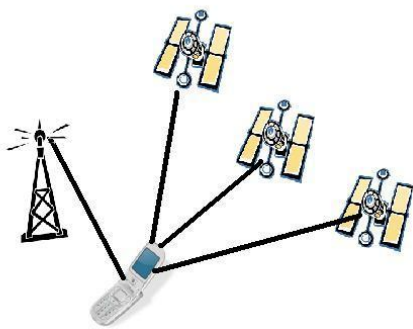


図4 Hybrid Fixの測位データ取得イメージ

### 3.3 Advanced Forward Trilateration Fix

測位衛星の確保が全くできないときに携帯電話の移動体通信基地局を仮想衛星とみなし、一般的なアルゴリズムで測位を実現する。

測位精度は大変悪く数十 m の測位誤差になる。また、移動体通信基地局の時刻同期も $10^{-10}$ の精度で合わせる必要がある。

測位イメージを図5に記述する。

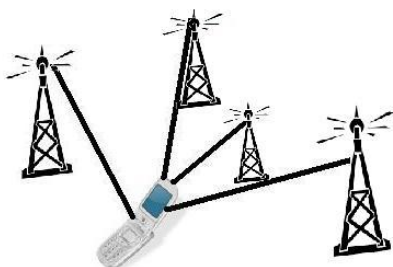


図5 Advanced Forward Trilateration Fixの測位データ取得イメージ

### 3.4 Cell Sector Center Fix

測位衛星も受信できず、携帯電話の移動体通信基地局を複数局確保するのが困難な場合に用いられる方式で、一般的な測位方法とは違い、移動体通信基地局が測位し、通常回線電波を利用して移動体通信基地局から携帯電話までの距離を測定し、移動体通信基地局で位置情報を補正してから携帯電話に送信する方式である。この方式では測位誤差が100mを超えることがしばしば起きている。測位イメージを図6に記述する。

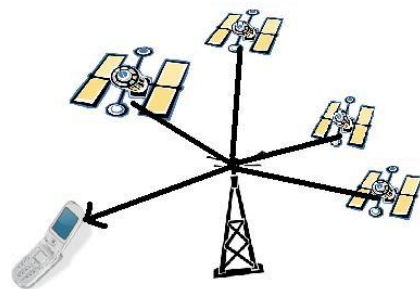


図6 CellSector Center Fixの測位データ取得イメージ

## 4 システム設計方針

本システムを設計するにあたり、授業の一環として実施する事から社会に直結する経験を考え、世界的に認知されているプロジェクトマネジメント知識体系ガイドであるPMBOKをもとに設計を行っている。

まずプロジェクトマネジメント・プロセスを以下の5つの群に分けて考えた。

- ・立ち上げ
- ・計画
- ・実行
- ・監視制御
- ・集結

これらのプロセスを各工程で繰り返し行うことで、要求の確実な実現、高品質の保持や問題解決などに対応する経験を身につける。そして、各種設計書の作成には図7に示したV字モデルから目的に合わせた設計書を作成する。

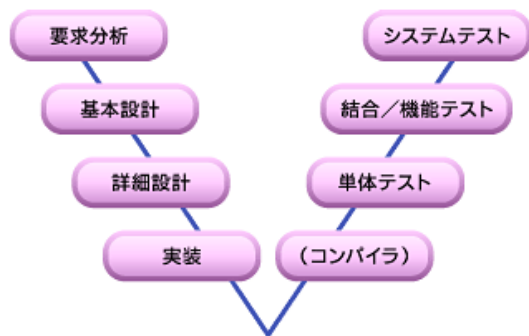


図7 V字モデル

## 5 システム設計構成

本システムを設計することに当たり最初にした作業が、何パターンか本システムを利用する利用者モデルを作成し必要機能を洗い出した。システム設計において本システムで必要とした機能を以下に記述する。

- ・リアルタイムでバスの位置を確認できる。
- ・乗車、降車を行うバス停に幼稚園バスが近付いたらメールで知らせる。
- ・緊急時に関係者へ自動メールを送信する。
- ・保護者のユーザー登録

次に上記に必要な機能を実現させるシステム構成として表1のような機能区分に分けた。

表1 必要機能構成一覧

機能名	用途
幼稚園バス位置情報取得システム	位置情報通知端末として幼稚園バスに装備し、幼稚園バスの位置を通知
メール通知システム	各種連絡事項を関係者に通知
セキュリティシステム	システム内の情報を関係のない第三者から守る
情報管理システム	各種情報を管理する機能

表1の機能構成から本システムは図8のようなシステム構成にした。

なお、本システムは24時間の連続稼働を考えサーバ

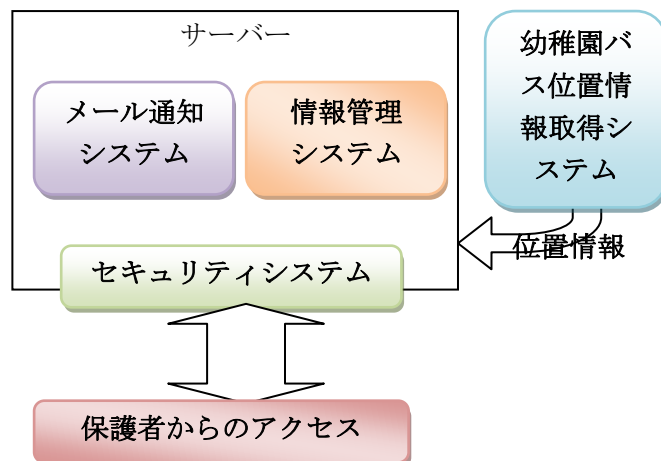


図8 システム構成図概要

ーについてはブレードシステムを採用したが、幼稚園バス位置情報取得システムについては通常販売されている携帯電話を利用する。これにより低予算でのシステム作成を実現した。また位置情報の通知は携帯電話で情報管理システムが管理しているホームページにアクセスすることでホームページのリロード機能を利用し定期的且つ自動で幼稚園バスの位置情報を取得する構成になっている。

## 6 新たな取り組み

本システムは設計に約3ヶ月を使い、2010年9月30日時点で設計が終わり製造を開始している。しかし、本システムは簡易型で制作したためいくつかの問題が発生する可能性を秘めている。現時点で予想できる問題点を以下に記述する。

- ・先に述べたように携帯電話を利用しての測位を行っているため、測位誤差が大きくなる可能性がある。
- ・幼稚園バスの位置情報送信を携帯電話で行っているため、携帯電話の電波が入らないところを幼稚園バスが通過する危険性
- ・本システムは簡易型のためシステムの連続稼働時間についての不確定さ

上記問題点についての検証は2011年1月から実運用テスト期間として3ヶ月を計画している。その間にデータを取って対応方法を検討していこうと考えているが、このような問題解決に対しても学生の頑張りに期待しており、このような経験が将来の仕事に生かされることを期待している。

